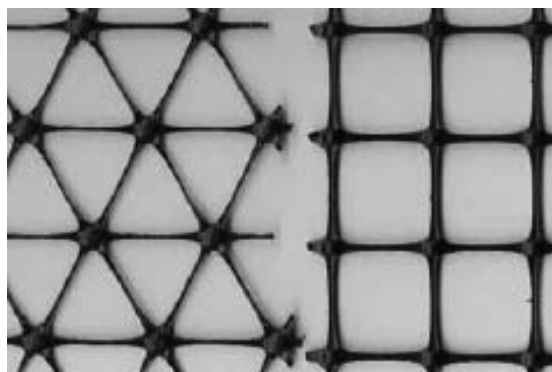


Badanie geosiatek dwu- i trójosiowych. Czy można porównywać między sobą geosiatki o różnych kształtach żeber i oczek?

Dr inż. Nigel E. Wrigley
NewGrids Ltd, Poole, Wielka Brytania

Terminu „geosiatka” zaczęto używać w 1980 roku, w którym to czasie po raz pierwszy pojawiła się na rynku koncepcja zastosowania wysokowytrzymałych siatek polimerowych do zbrojenia gruntu. Od tamtego czasu datuje się wykładniczy wzrost ich zastosowania dzięki coraz lepszej znajomości ich zalet w stabilizacji, czy też zbrojeniu gruntu. Do dalszego ich rozpropagowania przyczyniły się opracowania specyfikacji technicznych i metod badawczych, które stały się znane w całej branży budowlanej. Podczas pierwszych dwudziestu siedmiu lat tego okresu siatki dwuosiowe stały się wyrobami chętnie stosowanymi do zbrojenia i stabilizacji gruntu pod drogami i torowiskami oraz innymi obiektami komunikacyjnymi o dużym natężeniu ruchu. Były to geosiatki o oczkach prostokątnych lub kwadratowych i o wysokiej wytrzymałości zarówno w kierunku wzdłużnym, jak i poprzecznym. Producenci wprowadzili wiele różnych rodzajów wyrobów, które można było ze sobą bezpośrednio porównywać, biorąc pod uwagę podstawowy parametr wiodący geosiatek, przeważnie wytrzymałość na rozciąganie. Na przestrzeni ostat-

nich pięciu lat sytuacja ta uległa skomplikowaniu, ponieważ na rynku pojawiły się geosiatki płaskie z oczkami trójkątnymi. Na rys. 1 przedstawiono próbkę geosiatki o oczkach trójkątnych,



Rys. 1. Geosiatki o oczkach trójkątnych i kwadratowych

a obok, w celu porównania próbkę dobrze znanej geosiatki o oczkach kwadratowych, obydwie o podobnej masie jednostkowej. Można zauważyć, że rozmieszczenie polimeru w trzech rzędach żeber zamiast tylko w dwóch prowadzi do uzyskania geosiatki o oczkach trójkątnych posiadającej żebra węższe aniżeli w przypadku geosiatki o oczkach kwadratowych.

Tego rodzaju różnica kształtu żeber natychmiast nasuwa na myśl pytania: jaka jest różnica kształtów przekrojów poprzecznych tych żeber? W jaki sposób można porównać własności mechaniczne przy rozciąganiu tych różnych geosiatek? Czy różnią się te geosiatki od siebie pod względem zdolności do przeciwstawienia się uszkodzeniu mechanicznemu podczas zagęszczania gruntu nasypowego?

KSZTAŁTY ŻEBER

Na rys. 2 przedstawiono przekroje poprzeczne żeber geosiatek sporządzone na podstawie wartości średnich z pomiarów każdego wyrobu o podobnej masie jednostkowej. Symbol kodowy żebra „S” oznacza siatkę z oczkami kwadratowymi, a symbol „T” oznacza siatkę z oczkami trójkątnymi. Z rys. 2 wynika, że obydwa wagowo porównywane asortymenty (porównywalna masa powierzchniowa) geosiatek różnią się między sobą tym, że w przekroju poprzecznym żebra geosiatki z oczkami trójkątnymi mają mniejszą szerokość aniżeli żebra geosiatki z oczkami kwadratowymi. Wysokości żeber są podobne przy mniejszej masie produktu, w wyrobach o większej masie jednostkowej żebra geosiatek ortogonalnych są znacznie wyższe niż w siatkach trójkątnych.

Powodem zajęcia się kształtem żebra jest fakt, że uważa się, iż odgrywa ono ważną rolę w „blokowaniu ziaren gruntu między nimi, tzn. zazębieniu się ziaren z geosiatką” [6] i tym samym decyduje o własnościach geosiatki jako elementu zbrojącego grunt. Kluczowym elementem efektywności geosiatki jest jej zdolność do przejmowania obciążenia z gruntu poprzez lokalny opór ziaren gruntu przylegających do żeber geosiatki. Funkcję tą mogą spełniać najlepiej żebra o wysokich, pionowych bokach. Na podstawie przekrojów żeber pokazanych na rys. 2 widać, że omawiane w tej pracy zarówno geosiatki z oczkami kwadratowymi, jak i geosiatki z oczkami trójkątnymi cechują się wysoką efektywnością w przenoszeniu obciążenia.

ROZCIĄGANIE GEOSIATEK

Konwencjonalne badanie jednoosiowe

W przypadku geosiatek z oczkami kwadratowymi lub prostokątnymi szeroko stosowane są standardowe metody polegające na badaniu ich wytrzymałości na jednoosiowe rozciąganie na szerokich próbkach. Badania według EN ISO PN 10319 i ASTM D6637, wykonywane oddzielnie w obu kierunków rozciągania, dostarczają pełną miarę wytrzymałości w kierunku podłużnego i kierunku poprzecznego badanych geosiatek. Na rys. 3a wyraźnie pokazano, że w każdej próbie wytrzymałości na jednoosiowe rozciąganie występuje jeden rząd żeber w pełni obciążonych oraz jeden rząd, który nie ma żadnego wpływu na wynik. W celu porównania – jeżeli próbie wytrzymałości na

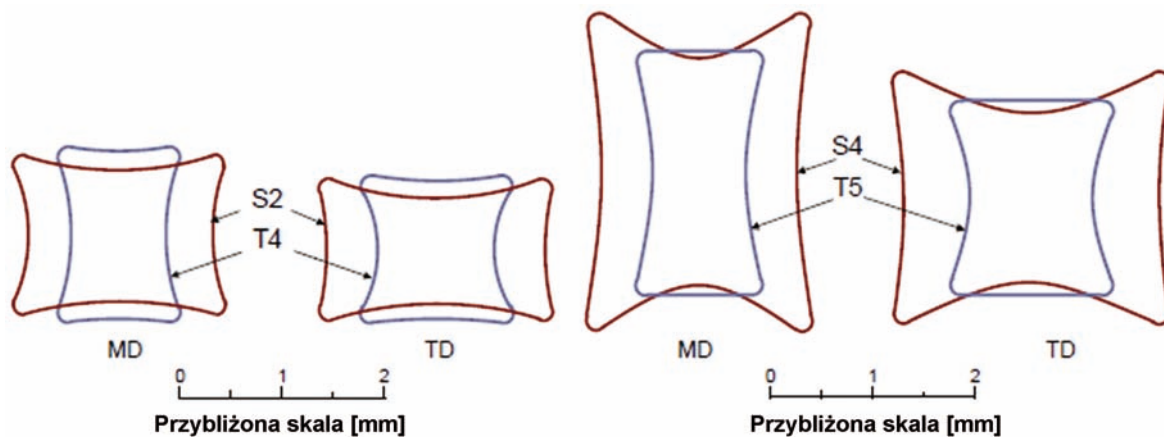
rozciąganie według jednej z metod jednoosiowych poddawana jest próbka geosiatki z oczkami trójkątnymi, to z rys. 3b widać, że podczas próby jednoosiowej tylko niektóre z żeber w próbce są w pełni obciążone. Dlatego na podstawie takich badań nie można wyznaczyć przydatnych właściwości mechanicznych geosiatki o trójkątnym oczku przy rozciąganiu jednoosiowym. W związku z tym, aby poznać własności mechaniczne przy rozciąganiu geosiatki o oczkach trójkątnych jest konieczne znalezienie alternatywnej metody badania. Jedną z możliwości polega na zastosowaniu opcji badania jednego żebra (metoda zaproponowana w normie ASTM D6637). Jednakże brak jest zgody co do tego, w jaki sposób można porównywać geosiatkę o oczkach kwadratowych z dwoma rzędami mocnych ortogonalnych żeber z geosiatką o oczkach trójkątnych mającą trzy rzędy słabszych rozłożonych skośnie i podłużnie żeber.

Alternatywna metoda badania wytrzymałości na rozciąganie

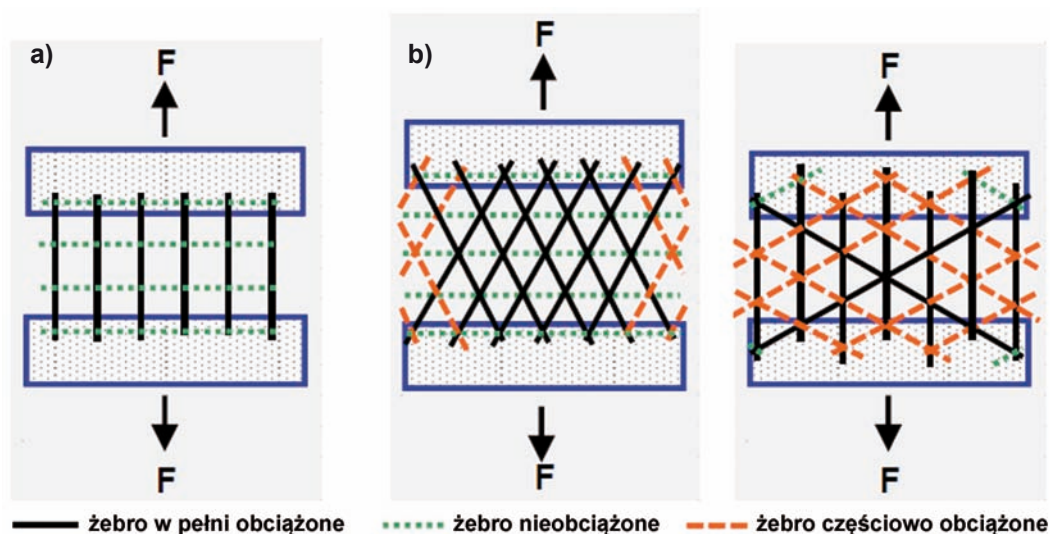
W obliczu przedstawionych problemów, w roku 2009 po raz pierwszy zaproponowano alternatywną metodę badania [8]. Metodę tę opracowano pod kątem uwzględnienia obciążenia działającego na geosiatkę, pochodzącego od koła pojazdu poruszającego się po drodze lub po innej nawierzchni komunikacyjnej. Na rys. 4 przedstawiono schemat takiego obciążenia. Obciążenie pochodzące od koła można porównać do obciążenia wywołanego ruchomą płytą kołową. Jak pokazano na rys. 4a, w danym momencie „płytkowe” obciążenie wytwarza stożek naprężenia w podłożu oddziałujący na geosiatkę swoją okrągłą podstawą.

Składowej poziomej stożka naprężenia (S na rys. 4b) przeciwstawia się naprężenie radialne C na obwodzie geosiatki (rys. 4b), działające na pełnym obwodzie podstawy stożka, 360°. Naprężenie radialne C wspomaga zatem pracę stożka, co powoduje tym samym lepsze jego wsparcie aniżeli w przypadku braku takiego zbrojenia. Efekt ten zwany „*confinement*” „uwięzienie, opasanie” gruntu w podstawie stożka uznaje się za główny mechanizm wzmocnienia geosiatką [4]. (W dalszej części niniejszego artykułu izotropowe rozciąganie geosiatki będzie określane terminem „naprężenie membranowe”, pomimo że Autor w referacie definiuje je jako „*confinement load*”. Tłumacz przyjął, że geosiatka jest traktowana w tym przypadku jako izotropowa błona lub membrana poddana obciążeniu działającemu prostopadle do krzywizny membrany, co wywołuje w membranie rozciąganie izotropowe).

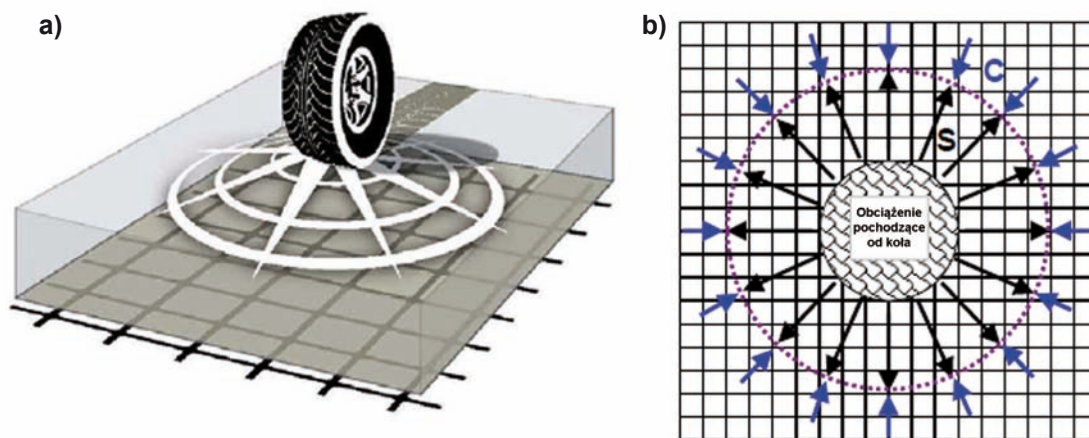
W 2007 roku Autor wraz z zespołem zdali sobie sprawę, że należy opracować metodę badania umożliwiającą pomiar naprężenia membranowego, które mogą oddziaływać w geosiatce poddanej obciążeniu pionowemu. Od tego czasu do dzisiaj trwają prace nad realizacją tego programu badawczego. Jak już wspomniano [8], podjęto decyzję o opracowaniu metody badań geosiatki w oparciu o metodę badania na rozciąganie wieloosiowe geomembran według DIN 61551. Połączono ją z koncepcją badania zaproponowaną w normie ASTM D5617, polegającą na wybrzuszaniu nieprzepuszczalnej membrany. Membrana ma kształt koła i, razem z leżącą na niej geosiatką, jest zakotwiona do podstawy na całym jego obwodzie za pomocą pierścienia kotwiącego. Membranę wraz z leżącą na niej geosiatką wybrzusza się pod naporem wody podawanej do przestrzeni pomiędzy pły-



Rys. 2. Przekroje poprzeczne żeber (oznaczenia kodowe żeber z tabl. 1)



Rys. 3. Próbkę geosiatki poddanej próbie wytrzymałości na rozciąganie metodą szerokopasmową
a) geosiatka z oczkami kwadratowymi, b) geosiatka z oczkami trójkątnymi (kierunek rozwijania MD, kierunek poprzeczny TD)



Rys. 4. Naprężenie w podłożu pod kołem oraz obciążenia generowane na poziomie geosiatki
a) stożek naprężenia wywołanego przez obciążenie pochodzące od koła, b) rzut poziomy sił poziomych na poziomie geosiatki

tą stołu a membraną. Przestrzeń ta powiększa się wraz z wydłużaniem się membrany pod wpływem naporu wody.

Badaniom poddano próbki o średnicy 1,0 m, aby wyeliminować efekt oczka, tzn. aby zapewnić, że pojedyncze oczko geosiatki nie było zbyt duże w stosunku do rozmiaru badanej próbki.

Zgodnie z wymogami normy DIN jako medium badawcze do „wybrzuszania” próbki wybrano wodę, gdyż zdawano sobie sprawę, że w przypadku użycia powietrza, rozerwanie geosiatki spowodowałoby jednocześnie rozerwanie nieprzepuszczalnej membrany, co doprowadziłoby do uwolnienia się dużej energii.

gii sprężonego powietrza. Jak podano w artykule z 2009 roku, wstępne badania przeprowadzono w Ośrodku Badawczym Tworzyw Sztucznych SKZ w Niemczech. Wykazały one słuszość zastosowania tej metody do badania geosiatek. Następnie zbudowano nowe urządzenie do prób i zainstalowano je w laboratorium BOSTD Geosynthetics w Qingdao, w Chinach.

Początkowo zastosowano membrany z elastycznego PCW lub kauczuku naturalnego o grubości 1,5 mm [9, 10, 11]. Stwierdzono, że kauczuk naturalny był materiałem optymalnym, ponieważ nie podlega plastycznemu odkształceniu i może być wielokrotnie użyty. Zestaw geosiatka-membrana mocowano, zaciskając na nim ciężki pierścień kotwiący na obrzeżu próbki. Aby zapewnić - jak się wydawało - rozsądne w tych warunkach uszczelnienie zapobiegające wyciekowi wody na wierzchu geosiatki umieszczono dodatkowo pierścień z membrany. Nie zapobiegło to powstawaniu nieszczelności, nawet gdy śruby M12 mocujące pierścień zaciskowy dokręcono wysokim momentem obrotowym. Problem ten rozwiązano ostatecznie poprzez wstawienie wtórnego pierścienia zaciskowego o grubości 10 mm pomiędzy membranę a geosiatkę, jak pokazano na rys. 4.

W celu zapewnienia odpowiedniego zakotwienia geosiatki w zacisku pierścieniowym, w powierzchniach pierścienia zaciskowego stykających się z geosiatką wykonano po obwodzie klinowe rowki o kącie 90° rozmieszczone w odstępach 2 mm.

Po zainstalowaniu wtórnego pierścienia zaciskowego geosiatka znalazła się poniżej podstawy bazy pomiarowej, tzn. zawisała w powietrzu. Z tego względu okazało się konieczne przemieszczenie punktu pomiaru bazy pomiarowej strzałki wybruszenia się próbki geosiatki o grubość pierścienia wtórnego. Cel ten osiągnięto poprzez umieszczenie na płycie stołu, pod membraną, kołowej płyty o grubości 10 mm, rozciętej na 4 ćwiartki, aby umożliwić przepływ wody pod membraną. Płytę umieszczoną pod membraną można zobaczyć na rys. 6.

Na rys. 6a pokazano stanowisko do badań wraz z membraną znajdującą się w pozycji ponad płytami podnoszącymi poziom pomiarowy przy pomiarze wybruszenia geosiatki wraz z wtórnym pierścieniem zaciskowym i z próbką geosiatki. Można także zobaczyć zbiornik do magazynowania wody, jaką używano do wymuszania „wybruszenia membrany i geosiatki”, z rurą spustową wychodzącą z otworu w środku stołu pomiarowego. Dzięki magazynowaniu wody w zbiorniku pod urządzeniem do prób, temperatura wody była utrzymywana na poziomie kontrolowanym, wynikającym z temperatury panującej w środowisku laboratorium.

Gdy próbkę przygotowano tak, że można było ją rozciągnąć ręcznie na płasko, jak to pokazano na rys. 6a, nałożono na nią główny pierścień zaciskowy i dokręcono nakrętki śrub zaciskowych momentem obrotowym o uprzednio wyznaczonej wartości i gwarantującej niedopuszczenie do poślizgu geosiatki i membrany w ich zakotwieniu podczas całego badania (rys. 6b).

Wybruszanie próbki wywoływane jest poprzez pompowanie wody do przestrzeni pomiędzy wierzchem stołu i spodem membrany. Podczas pompowania wody komputer monitoruje dane z czujnika przemieszczenia pionowego służącego do pomiaru „strzałki wybruszenia się geosiatki” w pionie oraz przetwornika ciśnienia zamontowanego w podstawie stołu pomiarowego. Wyniki odczytów są rejestrowane automatycznie. W zależności od sztywności na rozciąganie zastosowanej membrany oraz

rozmiaru oczek testowanej geosiatki membrana może ulegać „puchnięciu” poprzez oczka geosiatki i zakłócać w ten sposób pomiar „strzałki wybruszenia”.

Na rys. 7 można zauważyć zjawisko „lekkiego puchnięcia” membrany poprzez oczka geosiatki, które może wystąpić już przy wydłużeniu jednostkowym geosiatki wynoszącym jedynie 2%. W związku z tym konieczne było przeciwdziałanie temu. Rozwiązanie tego problemu przedstawiono na rys. 6a i 7. Na obydwu rysunkach można zauważyć, że pomiędzy geosiatką a membranę, w centralnym punkcie, w którym mierzy się „strzałkę wybruszenia”, wstawiono czarną płytkę. Jest ona wykonana z polietylenu wysokiej gęstości (HDPE) lub polipropylenu i ma grubość $1,5 \div 2$ mm. Stwierdzono, że w przypadku do tej pory testowanych geosiatek jest to rozwiązanie wystarczające, aby zapobiec lokalnemu „puchnięciu” membrany poprzez oczka geosiatki i że nie wywiera ono żadnego dostrzegalnego wpływu na wartości pomiarowe.

Wyniki badań

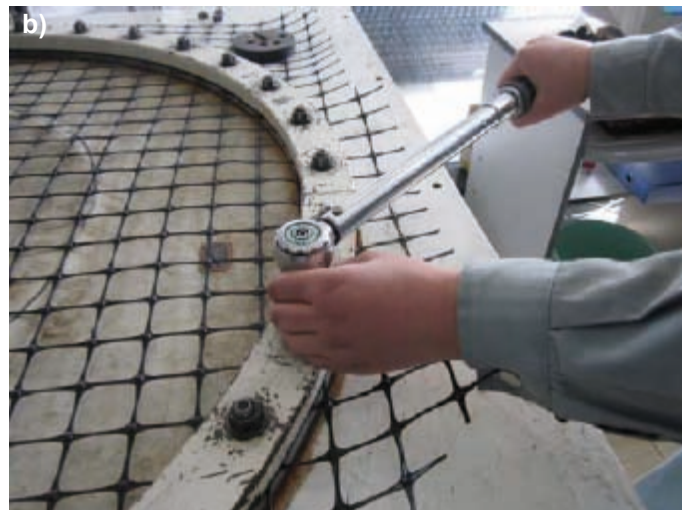
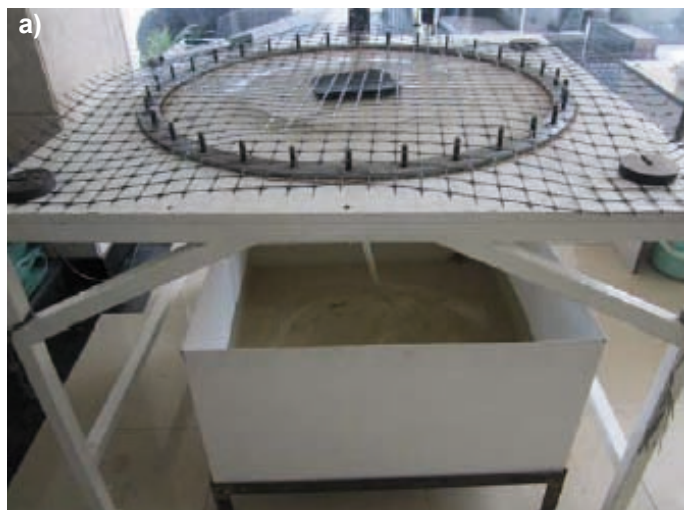
Geosiatki zainstalowane pod nawierzchniami drogowymi ulegają podczas użytkowania stosunkowo niewielkim wydłużeniom. W związku z tym, jeżeli chce się porównać siły rozciągające i moduły sztywności na rozciąganie geosiatki powinny być one badane w podobnym reżimie wydłużenia. Aktualnie, po upływie 30 lat stosowania geosiatek do zbrojenia i stabilizacji gruntu uważa się, że wydłużenie wynoszące 2% może być miarodajne do oceny jej sztywności na rozciąganie, a tym samym i przydatności w tej aplikacji. Pomimo że jest to wartość przekraczająca na ogół wydłużenia obserwowane na obiektach rzeczywistych (poza warunkami ekstremalnymi), to można ją traktować jako przydatną miarę porównawczą, którą można wyznaczać z powtarzalną dokładnością w większości laboratoriów. Dlatego też konieczne jest, aby posługiwać się tą samą miarą

Tabl. 1. Wyniki badań

Próbka	Masa jednostkowa [g/m ²]	Quasi wieloosiowa siła rozciągająca w geosiatce przy wydłużeniu 2% [kN/m]	Quasi wieloosiowa sztywność geosiatki na rozciąganie przy wydłużeniu 2% [kN/m]
S1	169	7,33	366
S2	237	10,70	535
S3	219	9,04	452
S4	318	15,85	792
S5	327	14,85	742
S6	315	14,84	742
S7	450	19,85	992
T1	193	7,02	351
T2	216	7,90	395
T3	218	8,27	413
T4	251	10,14	507
T5	303	14,07	704



Rys. 5. Sposób mocowania próbki w zacisku pierścieniowym



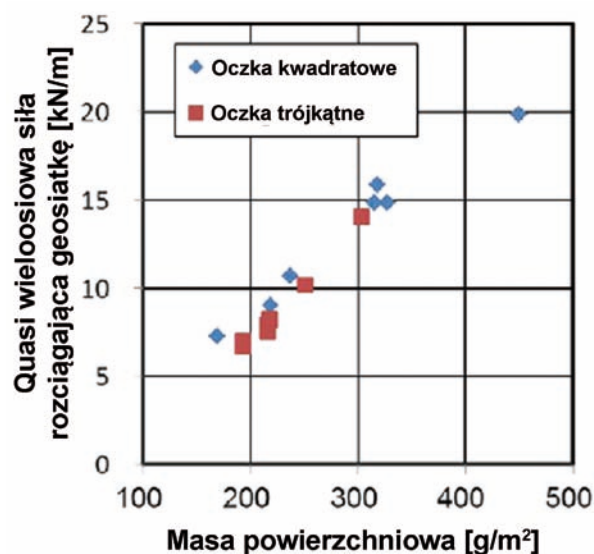
Rys. 6. Próbka geosiatki ułożona na membranie i sposób kotwienia geosiatki i membrany
a) próbka geosiatki na stanowisku badawczym, b) kotwienie geosiatki pod pierścieniem zaciskowym



Rys. 7. „Puchnięcie” membrany poprzez oczka geosiatki przy wydłużeniu jednostkowym geosiatki wynoszącym 2%

wydłużenia, podając w specyfikacjach technicznych wartość siły rozciągającej, jaka ma odpowiadać temu wydłużeniu. „Strzałka wybruszenia” geosiatki przy tym wydłużeniu wynosi 86,9 mm (przypis tłumacza: przy średnicy pomiarowej próbki 1000 mm).

Posługując się opisaną procedurą, przetestowano pewną liczbę próbek geosiatek płaskich w celu wyznaczenia quasi wieloosiowej siły rozciągającej, którą każda próbka była w stanie zmobilizować przy zadanym wydłużeniu 2%. Wszystkie próbki pochodziły od uznanych międzynarodowych producentów i przyjęto, że wszystkie posiadały żebra z polimeru o podobnych właściwościach (przypis tłumacza: w zasadzie wielkością pomiarową jest tu wartość naporu wody przy wysokości wybruszenia się membrany o 100 mm przy jej znanej średnicy 1000 mm, tj. pomiar ciśnienia wody pod membraną: siłę rozciągającą zbrojenie oblicza się według DIN 61 551 lub ASTM D5617).



Rys. 8. Wykres zależności: quasi wieloosiowa siła rozciągająca geosiatkę przy wydłużeniu 2% – masa powierzchniowa geosiatki

Wyniki tych badań ujęto syntetycznie w tabl. 1. Próbki o oznaczeniu kodowym „S” mają oczka kwadratowe. Próbki o oznaczeniu kodowym „T” mają oczka trójkątne. Próbki T2 i T4 miały taką samą nazwę handlową, podczas gdy próbka T3 była oznaczona jako wyrób inny i lżejszy aniżeli próbki T2 i T4. Wyniki z tabl. 1 posłużyły do sporządzenia wykresu zależności wieloosiowej siły rozciągającej geosiatki od ich masy jednostkowej, (rys. 8).

Uszkodzenia podczas instalacji

Dla dwuosiowych geosiatek o monolitycznych węzłach i oczkach kwadratowych lub prostokątnych istnieje już duża baza danych zawierająca wyniki badań wytrzymałościowych, pochodzące z 30 lat ich pomyślnego stosowania. Jednym z powodów rozpowszechnienia się geosiatek tego rodzaju była szeroka ich akceptacja przez projektantów nawierzchni ze względu na wysoką niezawodność geosiatek oraz ich odporność na uszkodzenia podczas instalowania. Te wyniki mają swoje potwierdzenie w danych opublikowanych przez renomowanych producentów. Istnieje jednak mało danych lub brak jest wystarczającego doświadczenia jeśli chodzi o miarę uszkodzeń powstających w geosiatkach nowszego rodzaju, o oczkach trójkątnych i dlatego uznano, że istnieje potrzeba przeprowadzenia badań porównawczych.

Pełne sprawozdanie z badań opublikowano w materiałach konferencyjnych Geoamericas Conference, która odbyła się na początku 2012 roku. Przebadano reprezentatywne próbki czterech geosiatek z oczkami kwadratowymi i próbkę dwóch geosiatek z oczkami trójkątnymi, zgodnie z zasadami zamieszczonymi w normach BS 8006 i ASTM D5818.

W badaniach użyto trzy rodzaje materiału ziemnego. Zastosowano łamany granit starannie posortowany: kruszywo drobne: maksymalne ziarno 5 mm, kruszywo średnie: maksymalne ziarno 60 mm, kruszywo grube: maksymalne ziarno 125 mm. Dobrano je w taki sposób, aby były one reprezentatywne dla materiałów ziemnych, z którymi geosiatki mogą stykać się w praktyce.

Badanie oparto na pełnoskalowej procedurze, z poddaniem każdorazowemu badaniu 12 m² każdego wyrobu na badaną sekcję. Do każdego rodzaju materiału ziemnego przeznaczono 3 sekcje, z różnymi stopniami zagęszczenia, jak to określono w normie BS 8006.

Wyniki badań przedstawiono w tabl. 2. Są one wyrażone jako poziom wytrzymałości zachowany przez wyrób w stosunku do wytrzymałości próbek kontrolnych nieuszkodzonych pozostawionych do badania końcowego. Oznaczenia kodowe wyrobów – jak w tabl. 1.

Tabl. 2 Wyniki badania uszkodzenia geosiatek podczas instalowania

Wyrób	Wytrzymałość zachowana po wbudowaniu [%]		
	Kruszywo drobne	Kruszywo średnie	Kruszywo grube
S1	96,5	88,3	81,7
S2	99,2	94,8	85,4
S4	99,2	98,4	91,1
S7	98,3	93,5	87,6
T4	91,6	85,6	77,6
T5	98,3	85,6	74,7

WNIOSKI

Przedstawione wyniki badań wykazały, że można bezpośrednio porównywać własności fizyczne, wytrzymałość na rozciąganie i trwałość mechaniczną geosiatek płaskich o radykalnie różnych kształtach oczek.

Porównanie kształtów zeber wykazało, że geosiatki nowszego rodzaju (z oczkami trójkątnymi) mogą mieć podobne właściwości jeśli chodzi o efekt zazębienia się ziaren kruszywa.

W celu porównania własności mechanicznych przy rozciąganiu geosiatek dwuosiowych z oczkami kwadratowymi z własnościami geosiatek z oczkami trójkątnymi było konieczne opracowanie metod badań polegających na wieloosiowym (quasi izotropowym) rozciąganiu. Dzięki tej metodzie możliwe było bezpośrednie i jednoznaczne porównanie wytrzymałości na rozciąganie różnych geosiatek.

Dotychczasowe standardowe badania mające wykazać miarę uszkodzenia geosiatek podczas ich instalowania w gruncie można z powodzeniem stosować do wszystkich rodzajów geosiatek. Zamieszczone wyniki badań pokazują, że dwuosiowe geosiatki z oczkami trójkątnymi ulegają znacznie większemu uszkodzeniu aniżeli podobne wyroby z oczkami kwadratowymi.

LITERATURA

1. ASTM D5617: Standard Test Method for Multi-Axial Tension Test for Geosynthetics. ASTM, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
2. ASTM D5818: Standard Practice for Retrieval of Samples to Evaluate Installation Damage of Geosynthetics. ASTM, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
3. ASTM D6637, Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method. ASTM, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
4. BS 8006: Code of practice for strengthened/reinforced soil and others fills, BSI, London, England Berg R R, Christopher B R, Perkins S, (2000). Geosynthetics reinforcement of the aggregate base/subbase courses of pavement structures. GMA White Paper II, Published for the Geosynthetic Materials Association by: Ryan R Berg & Associates, Woodbury, MN, USA.
5. DIN 61551 Geosynthetics – Determination of burst strength. Deutsches Institut für Normung, Berlin, Germany.
6. Webster S. L.: Geogrid reinforced base courses for flexible pavements for light aircraft: Test construction, behaviour under traffic, laboratory test, and design criteria. DOT/FAA/RD-92/25, U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service, Springfield, VA, USA, 1992.
7. Wrigley N. E., Zheng H.: The Confinement Effect of Different Geogrids, EuroGeo 4, IGS, Edinburgh, Scotland, Paper 243, 2008.
8. Wrigley N. E.: A comparison of the Index Properties of Different Geogrids, Geosynthetics Middle East, SKZ, Dubai, UAE, 2009.
9. Wrigley N. E., Zheng H., Liu X. J., Sama S. R.: The Confinement Effect of Different Geogrids – 2, 9th International Conference on Geosynthetics, IGS, Guarujá, Brazil, Paper 316, 2011.
10. Wrigley N. E., Zheng H., Yuan S. P.: The Confinement Effect of Different Geogrids – 3: The development of an index test for the omniaxial testing of the tensile properties of geogrids, GeoFrontiers 2011, IFAI, Fort Worth, Texas, USA, Paper 1050, 2011.
11. Wrigley N. E., Zheng H., Yuan S.: The Confinement Effect of different geogrids: 4: the development of an index test, IGS, Valencia, Spain, 2012.

PODZIĘKOWANIE: Autor wyraża podziękowanie kierownictwu spółki BOSTD Geosynthetics Qingdao Ltd., Qingdao, Chiny za hojne wsparcie badań. Bez tego wsparcia nie byłaby możliwa realizacja zamierzonych programów.

Artykuł ten pierwszy raz przedstawiono na konferencji „The Geosynthetics Middle East Conference” w Abu Dhabi w październiku 2012 roku.